

## ⑫ 公開特許公報 (A)

昭58—190029

⑮ Int. Cl.<sup>3</sup>  
H 01 L 21/30  
21/265

識別記号

庁内整理番号  
6603—5F  
6851—5F

⑯ 公開 昭和58年(1983)11月5日

発明の数 1  
審査請求 有

(全 12 頁)

## ⑭ 投影マスク

⑰ 特 願 昭57—162423  
⑱ 出 願 昭57(1982)9月20日  
優先権主張 ⑲1981年10月30日 ⑳欧州特許機  
構(E P)㉑81109370.7  
㉒発 明 者 ハラルド・ボーレン  
ドイツ連邦共和国7030ペーブリ  
ンゲン・ゲレネルシュトラッセ  
26番地  
㉓発 明 者 ベテル・ネーミッツ  
ドイツ連邦共和国7000シトツツ

㉔発 明 者 ガルト80カール・ベラー・シュ  
トラッセ2番地  
ヨハン・クレシュナー  
ドイツ連邦共和国7401ブリーツ  
ハウゼン2ゾーゼルン・シュト  
ラーセ14番地  
㉕出 願 人 インターナショナル・ビジネス  
・マシーンズ・コーポレーショ  
ン  
アメリカ合衆国10504ニューヨ  
ーク州アーモンク  
㉖復代理人 弁理士 合田潔 外2名

## 明 細 書

## 1. 発明の名称 投影マスク

## 2. 特許請求の範囲

マスクパターンを構成する貫通孔が形成される  
P<sup>+</sup>にドーブされた薄いシリコン層と、このシリ  
コン層と異なるようにドーブされたシリコン・リ  
ブからなり前記シリコン層を前記貫通孔の設けら  
れていない部分で支持する格子とを備え、前記シ  
リコン層の少なくともイオン照射にさらされる側  
にイオン吸収層が設けられ、そして、少なくとも  
イオン照射にさらされる表面が熱および電氣的に  
良導性を有する投影マスクにおいて、イオンの作  
用に対して抵抗を有し、熱による張力または固有  
の張力を発生せずこれら張力に起因する投影マ  
スクの変形を防ぐ層を有することを特徴とする投影  
マスク。

## 3. 発明の詳細な説明

この発明はイオン注入やイオン・ビーム・リソグ  
ラフィ等に用いられる投影マスクに関する。詳細

には、マスク・パターンを形成する貫通孔が設け  
られるP<sup>+</sup>型にドーブされた薄いシリコン層と、  
このシリコン層と異なる型にドーブされたシリコ  
ン・リブを有してシリコン層を貫通孔が設けられ  
ていない部分で支持する格子とを備え、シリコン層の  
少なくとも格子と反対側がイオン吸収層により覆  
われており、また、少なくともイオン照射にさら  
される表面が電氣的および熱的に良導体である投  
影マスクに関する。

イオン注入法が半導体材料をドーブするため  
広く用いられる方法として良く知られている。シ  
リコン・ウェファなどの半導体基板を選択的にド  
ーブするための一般的に用いられる方法として、  
基板上にある材料、例えば、フォトレジストまた  
は誘電体材料の層を塗布してそしてこの層に貫通  
孔のパターンを設け、ドーブされる半導体領域を  
覆わないようにしたマスクを半導体表面上に形成  
する方法がある。このようなマスクの欠点として、  
イオン注入プロセスにのみしか使えないことと、  
後でしばしば除去しなければならない事とである。

別のイオン注入方法では、このようなマスクを必要とせずに形成される最も小さなドーブ領域の大きさよりも小さな直径を有するイオン・ビームを、半導体基板の全ての部分をビーム径路が通過するような照射プロセスにより半導体基板上を移動させ、そして、コンピュータの制御によりこの照射プロセス中に照射してはいけない半導体の全ての点においてはイオン・ビームを消すようにする方法がある。この方法によれば大変に複雑で非常に小さい構造要素を有するドーブされた半導体構造を十分な正確さでもつて形成することができる。しかしながら、この方法の欠点は、大変複雑な装置を有することであり、また、達成できるスループットは大変高いイオン流を用いるときのみ、連続製造に対して十分なものにすぎない。ヨーロッパ特許出願第0001038号には、イオン注入にも用いることができるシリコン・マスクが記載されている。このマスクは自己支持型 (self-supporting) であり、貫通孔が設けられた薄いシリコン層と、このシリコン層より弱くドーブ

(3)

の利点を有するイオン・ビームによるリソグラフィが段々と興味を持たれてきている。例えば、イオン・ビームは電子ビームと異なりほとんど無視できる近接効果しか持たない。電子ビームに対してイオン・ビームの持つ利点は、アール・エル・セリンガー (R. L. Selinger) とピー・エー・サリバン (P. A. Sullivan) により1980年3月27日にエレクトロニクス (Electronics) のページ142ffに発表された「サブミクロンのリソグラフィへのイオンビームの利用 (Ion beams promise practical systems for submicrometer wafer lithography)」の記事に要約されている。又、この記事にはイオン注入と同様にイオン・リソグラフィに於て、選択的な照射が収束された偏向可能なビームか或はマスクの使用により行なう事ができることが記載されている。この記事には、単結晶シリコンまたは酸化アルミニウムの支持フィルム上に置かれたイオン吸収材料からなるマスクが記載されている。このことは、このマスクを使用すると照射のために用い

(5)

されたシリコンより形成されるフレームとを備えていて、フレームはシリコン層をマスクの貫通孔が設けられていない領域で支持する。このマスクは、イオン注入に先き立つてドーブされる半導体基板上に直接置かれるか、または、半導体基板上の20 $\mu$ m以上の厚みを持つスペーサー・リング上に置かれ、そしてイオン注入後に取り外される。このマスクはこのように反復して使用することができる。しかしながら、経験によれば、このマスクをしばしば使用すると薄いシリコン層が部分的に機械的な安定性を失ない、この結果によりシリコン・マスクはその形が不可逆的に変化してしまう。これは、非常に小さくかつ密集したドーブ領域をこのマスクにより形成する場合にとっても容認することができないことである。

半導体分野における超小型化の進展にともない、リソグラフィにより転写されるパターン要素は層小さくなっているため、電子ビーム・リソグラフィはすぐにその技術的限界に到達してしまうであろう。したがって、電子ビームと比較して多く

(4)

られるイオンは照射されるべき基板に到達する前に物質を透過せねばならないことを意味する。西独公開公報 (German Offenlegungsschrift) 29 22 416には電子ビーム・リソグラフィのみならずイオン・ビーム・リソグラフィにも好んで用いられるマスクが記載されている。西独公開公報に記載されたマスクは、マスク材料により覆われていない領域には、 $P^+$ にドーブされたシリコンの単結晶からなる格子リブの間に支持された支持フィルムに貫通孔を形成している。この支持層の貫通孔は利点を有する。なぜならば、たとえ薄いとはいえ層を通過させねばならないイオンは必然的に散乱されるからである。0.5 $\mu$ m以上の通過構造がなければ、電子を用いる場合に較べてずっと散乱が少ないのは事実である。したがって、いわゆる「チャネリング層」と呼ばれるものの使用はもはや受け入れることができない。「チャネリング層」は単結晶膜であり、照射を最適角度で行なえばイオンは最少の散乱でもつて通過することができる。

(6)

初めは、イオン・ビームおよび電子ビーム・リソグラフィに対しては基本的に同じマスクを使用することができると考えられていた。しかしながら、ユー・ベリンガー (U. Behringer) とアール・スペデル (R. Speidel) により、1981年9月28日から30日までローザンヌ (Lausanne) で開かれた“マイクロサーキット・エンジニアリング (Microcircuit Engineering 81)”の学会での「イオン・ビーム近接プリンタの自己支持シリコン・マスクの放射負荷の研究 (Investigation of the radiation loads of a self-supporting silicon mask in an ion beam proximity printer)」という題の講演で述べられたように、イオンの照射は可逆性のまたは不可逆性の変形をマスクに生ずる。ベリンガーとスペデルは彼らの実験において、3つのタイプのマスクを使用した。これらのマスクは、シリコン・リブの格子により支持された  $P^+$  にドーブされた単結晶シリコンからなり、貫通孔

(7)

したがって、この発明の目的は、使用の際に安定した形状を有し、被照射基板に重大な汚染を与えず、商業的な製造条件で複製することができるイオン注入およびイオン・ビーム・リソグラフィのための投影マスクを提供することである。

このようなマスクは明らかに従来技術から作製することができるものではない。さらに、経験によれば、この発明のいくつかの特徴を同時にマスクに持たせるのは困難であつた。イオン照射にさらされるマスクの側に、機械的強度を有し同様にイオン吸収を行う材料 (このような材料としてはタンタルが知られている) を金のような高いイオン吸収特性を持つがイオンに対する抵抗力が十分でない材料の代りに用いると、容認できないマスクの変形が生ずることが知られている。このマスクの変形は、タンタル層の固有の張力のためにタンタルの被着の際に生ずる張力によるものか、あるいは、タンタルへのイオン照射によりマスクが熱されることにより生ずる張力によるものかのどちらかである。このため、イオン吸収層と機械的

(9)

が設けられたフィルムの基本構造を有する。第1のタイプのマスクは両側が金により被膜されており、第2のタイプのマスクは両側がアルミニウムにより被膜されており、第3のタイプのマスクはシリコン・フレームのみよりなつている。第1のタイプのマスクはどんな重要な変化 ( $0.2 \mu m$  以上) も発見されなかつた。第2のタイプのマスクはイオンの衝撃により徐々に歪んできた。しかしながら、歪みは  $400^\circ C$  で15分間置く熱処理により除去できた。第3のタイプのマスクは比較的短い使用期間の後で壊れた。これはベリンガーとスペデルの見解によればマスクの熱伝導度が小さいためである。彼らの実験の結果によれば、第1のタイプのマスクがイオン・ビーム・リソグラフィに適すると指摘されるが、この出願の発明者等は金で被膜されたイオン・ビーム・マスクが用いられると、被照射基板は金で汚染されることを発見した。このことは、特に半導体材料内において金が強い影響を持つため、容認できないことである。

(8)

抵抗層またはイオン抵抗層との機械的張力を受容できるレベルに維持するため、各層の厚さを単にマスク全体の厚さによりイオンの吸収が完全に行なえるのに十分なようにする試みが行なわれた。しかしながら、先のベリンガーとスペデルの意見と進つて、イオン衝撃効果に対して薄い  $P$  型にドーブされたシリコン層を保護するためには十分な熱の散逸を確保するだけでは不十分であり、 $P^+$  型にドーブされたシリコン層はイオンの照射にさらされると、その安定を失なうということが明らかになつた。イオン照射にさらされる被膜を2つの層にして用いることにより、すなわち、モリブデンのような機械的な張力を生じやすい機械的抵抗材料の薄い層を、金のような高い機械的抵抗を持たないがイオンを吸収する材料から形成されたシリコンに隣接する下の層の上に塗布して用いることにより、機械的な張力を防ぐとともに同時にマスクをイオンに対して抵抗性を持たせてイオンがシリコン内部に侵入しないようにすることが試みられた。しかしながら、このような材料の組合

(10)

せでも、バイメタル効果の発生のため機械的張力の問題が生ずることがわかった。

この問題に対しての解決は、機械的抵抗を有するとともにイオン吸収を行う単一の層の使用による前述の利点、または、動作中の機械的張力の欠点を除いた2層タイプの使用による前述の利点を考慮することにより見つけられた。この問題は、照射される基板の表面に直面する側に機械的張力を発生する被膜を設け、そして、この被膜の厚さおよび組成をイオン・ビームにさらされるマスクの側の被膜と互いの機械的張力が打ち消し合うように選ぶことにより解決される。マスクの基板に直面する側の被膜の付加的な機能としては、マスクに発生する熱をさらに一層に散逸することである。

マスクの下側に付加的な被膜を設けることは明白な利点を有するけれども、マスクの製造を複雑にするという影響が残る。このため、この付加的な被膜なしで行なえる解決を見つめ出すための努力がなされた。ついに、本発明に開示されるよう

(11)

第1A図ないし第1E図は、それぞれこの発明の実施例のマスクを示す概略断面図である。

第1A図は、この発明の一実施例によるマスクを示す概略断面図である。マスクのシリコン・フレームは、その両側をイオン・ビームに対して高い機械的抵抗を有するとともに高い吸収特性を有する材料の層で覆われている。第1A図には、薄い表面層1を持つシリコン・ウエファの断面が示されている。層1はP<sup>+</sup>ドーピングにより他のPまたはNドープ部(基板2)と異なっている。層1は貫通孔または窓3を有し、それぞれの貫通孔または窓3は、それらの壁が層1の表面に対して実質的に垂直であつてマスク・パターンの輪郭を実際に形成している。おけ(tub)型の凹部4が基板2の層1の反対側の表面(第1A図には示していない)から基板2内に延在して貫通孔3が凹部4に開口している。シリコン・ウエファは多くの凹部4を有し、これらの凹部4は基板2に設けられたリブ形状の格子により互いに分離されている。それぞれの凹部4は、好ましくは、分割されたマ

(13)

なマスクの実施例が見出された。すなわち、イオン照射に直面する側のシリコン層上に金の層を塗布し、そして金の層上に薄い炭素の層を塗布する。炭素はイオン・ビームに対して高い抵抗を有し(大よそ金の30倍のイオンに対する抵抗を有する)、イオンの照射が事実上の減衰なしで通過することのできる比較的薄い炭素層は、金の離脱を確実に防止することが判明した。さらに、炭素は熱的にも電気的にも良導体である。金は非常によいイオン吸収体として知られている。炭素/金被膜の上述以外の重要な利点としては、マスクを使用してもこの被膜に機械的張力を発生しないことである。金は、もし1μmより薄ければどんなにしても炭素と同様に機械的張力を発生しない。しかしながら、金と例えばモリブデンの組合せは、上述のバイメタル効果により機械的な張力を発生する。このバイメタル効果は金と炭素の組合せが用いられる時は生じない。

以下、この発明を図示の実施例に基いて説明する。

(12)

マスクセクタに、このマスクセクタに対応する全ての孔がこの凹部4に開口するような態様で対応している。このように分割されたマスクセクタは例えば半導体ウエファ上のチップに対応したマスク領域であり、このためこの場合では凹部4の横方向の大きさはチップサイズになつている。今日、6×6mmのチップサイズが普通使用されている。もし、マスクに使用されるシリコン基板が(100)方向の単結晶シリコンウエファであると、凹部4の壁は大よそ54度傾斜している。もし、シリコン・ウエファが商業的に手にはいるものであるならば、典型的な厚さは大よそ400μmである。マスク構造におけるシリコン基板2の厚さはしかしながらマスク製造に用いられるシリコン・ウエファの厚さよりも小さくすることができる。一例をあげると、これは、個々の凹部4に対応するマスクセクタの離間間隔を、400μmの厚さの基板中に前述の54°の角度で形成される2つの隣接した凹部4の壁の最下端での間隔よりも小さくする場合である。好ましくはホウ素によりド

(14)

ープされた $P^+$ 型の表面層1は、約 $1\mu m$ ないし約 $4\mu m$ の厚さ、好ましくは $3\mu m$ ないし $4\mu m$ の厚さである。 $P^+$ にドーブされた層のドーピングは、基板表面からの距離の増大につれて減少し、 $P^+$ にドーブされた層の厚さは基板表面からドーピングが大よそ $7 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ の値に減少した所までの距離として定義される。貫通孔3の最小幅は $1\mu m$ 以下である。

上述のシリコン構造はこの発明の全ての実施例のマスクに共通なシリコン・フレームを表わしたものである。マスク、すなわちより正確には表面層1はその安定性を、 $P^+$ ドーピング、シリコン・リブの格子状に形成された基板および基板の単結晶の特性より実質的に得ている。リブ形状の格子の目的は、凹部4の間のマスクの特に機械的および熱的ストレスに対する抵抗を高めて、マスク製造において適当な注意でもつて取扱えば損傷することなく取扱うことができるようにしている。リブ状の網は、その比較的高い厚さによりこの安定効果を与えることができる。個々のシリコン・

(15)

い抵抗力を持つ機械的抵抗材料である。タンタルはその金属性質により、高い電気および熱伝導性を有し、さらに金よりわずかに小さいだけのイオン吸収性を有する。マスクのイオン照射にさらされる側（以下、上側と呼ぶ）上のタンタル層5の厚さは、大よそ $50$ ないし大よそ $200 \text{ keV}$ の間の印加されるイオン・エネルギーの範囲の関数であつて、大よそ $0.3$ から $0.8\mu m$ の間である。塗布の方法により、貫通孔3の壁のタンタル層の厚さはマスク表面より大よそ $1.5$ ないし大よそ3のファクターだけ小さく、シリコン・リブの格子側（以下、下側と呼ぶ）のマスクの表面のタンタル層の厚さは、マスクの上側のタンタル層の厚さと大よそ同じ程度の厚さである。しかしながら、マスクの下側のタンタル層は主としてマスクの上側のタンタル層により発生する機械的張力を打ち消す役割を有し、タンタル層の機械的張力はマスクの形状に依存するため、マスクの下側のタンタル層の必要な厚さは簡単な実験より正確に決められる。機械的な張力の打ち消し以外のマスクの下側のタ

(17)

リブはいくらかの空間を必要とするけれども、全てのシリコン・リブにより必要とされる全空間はマスクの全体表面に関して比較的小さい。なぜならば、この発明によるマスクにおいては、隣り合うシリコン・リブ間のマスクセクタの表面領域はかなり大きいからである。シリコン層1の厚さは好ましくは約 $3\mu m$ ないし $4\mu m$ である。

この発明によるマスクは、上述したような通常の半導体ウエハの大きさであつて凹部4の間のシリコン・リブにより横方向の大きさがたとえは通常の半導体チップのサイズに合うような複数のマスクセクタに分割されるか、または、マスクは単に1または2つの凹部4により区切られる表面を有し、すなわち、単に1または2つの半導体チップの横方向の大きさを有するかのどちらかであつてよい。

第1A図のマスクは、タンタル層によりシリコン・フレームのイオン照射にさらされる表面、貫通孔の壁およびシリコン・リブの格子の表面が被膜されている。タンタルはイオン照射に対して高

(16)

ンタル層の機能は、熱を散逸することである。タンタルの他に、層5を又タンタルよりもさらによくイオンを吸収するタングステンで形成してもよい。（マスクの上側のタングステン層は好ましくは大よそ $0.2$ ないし $0.6\mu m$ の厚さである）第1A図に関して説明された実施例では、マスクの上側の層は好ましくはマスクの下側の層と同じ材料で形成される。しかしながら、マスクの下側の層は、その本質的特性が高いイオン吸収性や高い機械的安定性にあるのではなく、機械的張力を生ずる傾向とせいぜい熱伝導度にあるのでマスクの上側の層の材料とは異なる材料より形成してもよい。

第1B図には、第1A図に示されたものとは異なるこの発明によるマスクの実施例が示されている。この実施例のマスクは、シリコン・フレームが1層で被覆されるのではなく、2層で、すなわち、下方の金属5と上方のモリブデン層7とにより被覆されている。モリブデンはイオン・ビームの衝撃に対して強い抵抗を有し、そして熱および電気伝導性を有する。しかし、イオン吸収性は高

(18)

くない。一方、金はイオン照射に対しては高い抵抗を有さないが、イオン吸収性は非常に高い。イオン・エネルギーに依存して、マスクの上側の層の厚さは金で大よそ0.15ないし0.45  $\mu\text{m}$  の間にあり、モリブデンで0.1ないし大よそ0.3  $\mu\text{m}$  の間にある。シリコン層1の貫通孔3内のモリブデンと金との層の厚さは、塗布の方法に依存してマスクの上側より大よそ1.5ないし3のファクターだけ小さい。マスクの下側の層の厚さは、マスクの上側の層の厚さと同じ程度である。マスクの下側の被覆は、モリブデン/金の層構造に見られるバイメタル効果を打ち消すために必要であり、また、熱の伝導性による利点を有する。

第1C図には、この発明による他のマスクの実施例が示されている。この実施例ではシリコン層1の上側とこの層1の貫通孔3の壁とのみが被膜される。被膜は金の下方の層6と炭素の上方の層8とからなる。炭素はイオンをほとんど減衰させることなく通過させる。すなわち、炭素は大変低い吸収能力を有する。けれども、炭素は機械的に

(19)

る能力を改善してさらにマスクの温度の上昇を減少することができるからである。このような実施例のマスクが第1D図に示されている。ここでは金の層6がシリコン層1の下側およびシリコン・フレーム上を延在している。

第1E図に示されるマスクの実施例は、シリコン・フレームと金の層6との間に好ましくは窒化シリコンからなる層9が設けられている点で第1D図に示される実施例と異なる。層9は大よそ0.1ないし0.2  $\mu\text{m}$  の間の厚さを有する。この層9の目的は、金の層6内に吸収されたイオンや原子または金の原子が、 $P^+$ にドーブされたシリコン層1内に拡散するのを防ぐことである。このような拡散のおそれは特にマスクがイオン注入工程またはイオン・ビーム・リソグラフィ工程で長い期間使用される場合に生ずる。拡散によりシリコン層1内に侵入した原子やイオンはシリコン層1内に直接に注入されるイオンと同じようにシリコン層1の安定に損害を与える。このような拡散障壁は、吸収層が金でなくて他の材料からなる場合で

(21)

高い抵抗を持つ。(炭素のイオン・エッチに対する抵抗性はタンタルの4ないし5倍である)さらに、上述したように、大変薄い炭素層は確実にイオン・ビームによる金の剝離を防ぐことができる。使用されるイオン・ビームのエネルギーに依存して、マスクの上側の金の層6の厚さは大よそ0.2ないし大よそ0.6  $\mu\text{m}$  間にあり、炭素の層8の厚さは0.1  $\mu\text{m}$  の程度である。シリコン層1の貫通孔3内の層の厚さは塗布の方法に依存して、マスクの上側よりも大よそ1.5ないし大よそ3の間の大きさのファクターだけ小さい。炭素は、金の層6に到達するイオンがどんな場合でも最初は炭素の層8を通過しなければならないように完全に金を覆わなければならない。上述の厚さの金の層および炭素は、いずれも機械的張力を発生せず、したがって、2つの材料の組合せによるバイメタル効果はなく、マスクの下側は被膜する必要がない。

上述の利点にもかかわらず第1C図に示すマスクの下側を、好ましくは金からなる層で被膜してもよい。なぜならば、これはマスクの熱を散逸す

(20)

も推奨される。もし、特別なタイプのイオンに対して拡散障壁として使用することのできる層材料が見つからない場合には、長期間の使用の後、濃く「ドーブ」された被膜をマスクから除去して、その後シリコン・フレームに再度被膜を設けることができる。この方法によれば、マスクの最も重要な部分、すなわち、シリコン・フレームを再使用することができる。

以下に、第1C図に代表されるマスクの製造を第2A図ないし第2C図を参照して説明する。

基板2として、N型にドーブされて(100)の方位を持つ単結晶シリコン・ウェファが使用される。シリコン・ウェファの厚さは、典型的には大よそ400  $\mu\text{m}$  の厚さであるが、また、大よそ100ないし大よそ400  $\mu\text{m}$  の間の厚さであることもできる。基板の一表面(以下、下側と呼ぶ)には0.5ないし1  $\mu\text{m}$  の厚さの二酸化シリコン層12が与えられる。このため、基板2は例えば所定時間、大よそ1000°Cの温度で酸素/水蒸気雰囲気中にさらされる熱酸化を受け、冷却後、下

(22)

側の面に対して反対側の面（以下、上側と呼ぶ）上にできた酸化層を除去する。

次に、半導体基板2は上側から $P^+$ 伝導型を形成する不純物により濃くドーピングされる。不純物としてホウ素を用いる事が好ましい。ドーピングの為に周知の方法での不純物イオンの注入か、或は不純物の拡散が基板に行われる。拡散は排気カプセル内で拡散源としてホウ素がドーピングされたシリコンを使用するか、或は、開管内でホウ素源として好ましくは $BBr_3$ を含んだキャリアガスを半導体ウエファ上を通過させるかによつて高温で行われる。もし、ドーピングが拡散により行われると、ドーピングは表面で最も濃く、そして表面からの距離が増すにつれてドーピングは減少する。ドーピングの厚さは、表面からドーピングの濃さが $7 \times 10^{19}$  不純物 atoms/cm<sup>3</sup>の所までの距離として定義される。このようにして得られた構造が第2A図の断面図に示されている。実際は、シリコン層1は基板2上に設けられたエピタキシャル層とすることができる。

フォトリソグラフィック・エッチング工程に

(23)

レジスト層18が今、所望のマスク・パターンと一致するように選択的に照射される。次の現像工程により、以後の工程でシリコン層1内に食刻されるべきパターンに正確に一致するレジスト層18のパターンが残る。レジスト層18の開口は所望のマスクパターンよりわずかに大きい。今日、商業的に手に入れられる最良の電子ビーム・パターン発生器を用いて、大よそ0.5ないし大よそ1 $\mu$ mの間の厚さのレジスト層を用いれば、レジスト層に最大の正確さでもつて1 $\mu$ m以下の幅の線を写すことができる。現像後に表われる構造が第2C図の断面図に示される。

次の工程で、 $CHF_3$ または $CF_4/H_2$ 混合気を含む雰囲気中での反応性イオン・エッチングにより $SiO_2$ 層16がレジストマスク18を使用して選択的にエッチングされる。すなわち、レジスト層18に開口19が設けられている所のすべてが、エッチングされる。反応性イオン・エッチングのためプラナー・カソード・システムがおよそ5 $\mu$ barの気圧中で用いられる。RF

(25)

より、1または複数の開口14がウエファの下側の酸化層12に形成される（第2B図図示）開口14の横方向の大きさは後の工程で食刻される凹部の横方向の大きさにより決められる。

第2C図および第2H図は以下の工程で興味のある部分を詳細に説明するため、半導体ウエファの厚さの全体の断面を表す第2A図および第2B図とは異なり、マスク構造が形成される上側の表面領域の拡大断面図を示している。ウエファの上側には、大よそ0.8 $\mu$ mの厚さの二酸化シリコン層16が熱的に形成されるか、または、好ましくは600°C以下の温度によるCVDにより形成されるか、または、スパッタリングにより形成される。二酸化シリコン層16上に大よそ0.5ないし大よそ1 $\mu$ mの厚さの放射敏感なレジスト層18がスピン・オンにより塗布される。高解像度のマスクパターンが形成されなければならないので、放射敏感なレジストは、電子ビーム、イオンビームまたはX-線に対して敏感でなければならない。例えば、電子ビーム・パターン発生器により、

(24)

電力は大よそ0.2 Watt/cm<sup>2</sup>であり、もし、 $CF_4$ と $H_2$ が用いられる場合、流量比 $CF_4:H_2$ は大よそ3.5:1である。レジスト層内に形成されたパターンは高い精度でもつて $SiO_2$ 層に刻み込まれる。もし、パターンが1 $\mu$ m以下の線幅をもっているならば、 $SiO_2$ の層はレジスト層に比較して厚い。反応性イオンエッチングの間、レジスト層18はわずかに薄くなる。二酸化シリコン層16の開口は基板表面に垂直な壁を有し、レジスト層18の開口と正確に一致する。このようにして得られた構造が断面で第2D図に示されている。ここで、レジスト層と二酸化シリコン層とにエッチングされた開口を参照番号20で、示している。

次の工程で、 $P^+$ にドーピングされたシリコン層1が選択的にエッチングされる。反応性イオン・エッチング法がアルゴンと塩素を含む雰囲気中で行われる。大よそ0.8 $\mu$ m厚の $SiO_2$ 層16がエッチング・マスクとして用いられる。エッチング条件は $SiO_2$ とSiとの間のエッチング速度

(26)

比が1:10になるように選ぶことが容易にできる。プラナー・カソード・システムにより、97体積%のアルゴンと3体積%の塩素を含む大よそ $1.33 \times 10^{-2}$  mbarの圧力の雰囲気中で反応性イオン・エッチングが行なわれると、基板表面に垂直な壁を持つ穴が $P^+$ にドーブされたシリコン層1内にエッチングされる。過剰エッチングは生じない。層1のエッチングの間、 $SiO_2$ 層16もゆつくりと除去される(残りの $SiO_2$ は緩衝されたフッ化水素酸中に浸すことにより除去できる)。層1のエッチングの後、第2E図に断面で示されるような構造が得られる。ここで、層1の穴には参照番号21が与えられている。穴21の深さは、先に定義された $P^+$ にドーブされたシリコン層1の厚さよりも大きければよい。

層1に穴21が設けられた後、ウエファの裏から開口14を有する二酸化シリコン層12をエッチング・マスクとして用いタブ状の凹部4がエッチングされる。

エッチングのために、エチレンジアミン、ピロ

(27)

凹部4のエッチングの後、第2F図に示すような構造が得られる。

次の工程において、マスクの上側に金の層が通常の蒸着またはスパッタリングにより被着される。スパッタリング装置中には、マスクはプレート上に金の標的板または金の被覆を有する標的板と平行に対面するように置かれる。マスクと標的板との間の距離は大よそ3 cmであり、スパッタリングはアルゴンを含む雰囲気中、大よそ $1.33 \times 10^{-1}$  mbarの圧力の下で行なわれる。マスクがさらされる大よそ50ないし200 keVの間にあるイオンエネルギーの大きさによるけれども、被着される金の層は大よそ0.2ないし0.6  $\mu m$ の厚さの間にある。金は層1の上表面上にのみ被着するのではなく、穴21の壁にもまた被着する。与えられたスパッタリングの条件の下では、層1の表面上に被着された金の層の厚さの穴21の壁に被着した金の厚さに対する比は、大よそ3:1である。金のシリコンへの被着力はマスクが濡れる工程に置かれない限り十分である。金の層6の被着が行

(29)

カテコール、水と必要ならば過酸化水素を含む溶液が $118^\circ C$ 以下の温度で用いられる。この溶液の特性は、N型にドーブされた単結晶シリコンまたは $P^+$ 型にドーブされていない単結晶シリコンを非等方的にエッチングすることである(100平面は111平面よりも大よそ16倍速くエッチングされる)。そして、この溶液は $P^+$ にドーブされたシリコンをほとんどエッチングしない。溶液は、好ましくは、22 gのピロカテコール、630 mlのエチレンジアミン、115 mlの水と29 mlの $H_2O_2$ を含む。エッチング溶液の上述の特性により、タブ状の凹部4のエッチングは容易に制御することができる。厳密に言えば、エッチングは層1のドーピングの条件により決定される。すなわち、ウエファ表面に垂直な方向のエッチングは、エッチング溶液がホウ素濃度が $7 \times 10^{19}$  atoms/ $cm^3$ 以下のすべてのシリコンを除去した時に事実上停止する。これはホウ素濃度 $7 \times 10^{19}$  atoms/ $cm^3$ 以上のシリコン層が残ることを意味する。これは層1の定義と同じである。

(28)

なわれた後の構造が第2G図に断面で示されている。

最後に、炭素の層が金の層6上に被着される。炭素の層は、炭素電極を用いたアーク放電からの蒸着または炭素の標的板を用いたスパッタリングの手段により被着される。マスクの上側の炭素の層の厚さは0.1  $\mu m$ 程度である。この厚さは、金の層の保護に必要な厚さよりも大きい。しかし、これは穴21の壁の金または孔の端部の金を十分に厚い炭素の層で被覆することを確実にする。炭素の層8の被着により得られた構造が第2H図に示されている。これは第1C図の一部を表わしている。この構造の貫通孔3の横方向の大きさは所望のマスク・パターンの横方向の大きさと一致している。製造工程の初めに形成された放射敏感な層18の開口19の横方向の大きさ19は、穴21の壁に被着される金と炭素の層の厚さに従って決められる。

第1D図に示されるようなマスクを作るためには、上述の製造工程を修正して炭素層8の被着に

(30)

先立つてシリコン・フレームの下側に金の層を被着する。マスクの下側の金の層の厚さは重要ではない。しかし、好ましくは上側の金の層の厚さとほぼ等しくする。このマスクが製造される時には、放射敏感な層の開口を決める際、マスクの下側の金の層の被着は穴21の壁上の金の層の厚さをさらに増大するだろうということを考慮しなければならない。

第1A図に断面で示すマスクを製造するためには、第2F図に示す構造を基礎としてタンタルが2面被着により被覆される。タンタルは蒸着またはスパッタリングの周知の手段により被着される。マスクがさらされるイオンのエネルギーによるが(大よそ50ないし大よそ200keVの間のエネルギー)、マスクの上側のタンタル層は大よそ0.3ないし大よそ0.8 $\mu\text{m}$ の厚さである。マスクの下側の層は大よそ同じ厚さであるが、正確な厚さを決めるためにはテストを行うことが必要であり、熱により発生する機械的な張力を完全に打ち消すことがマスクの下側の層の厚さを決める判断の基

(31)

のモリブデンの層は炭素の層よりもわずかに厚く、すなわち、大よそ0.2ないし0.3 $\mu\text{m}$ の厚さである。マスクの下側および孔の壁のモリブデンの層の厚さに関しては、タンタルに関して述べられたような事が同様に適用される。このマスクでは金の代りに層6のために、白金、タングステン、タンタルそして限られた範囲では金よりもずっと吸収能力の低い銀を用いることができる。また、モリブデンの代りに、層7のためにチタニウム、タングステンまたはタンタルを用いることができる。それぞれに必要な厚さは、当業者に知られている簡単な実験により決められなければならない。正しい厚さの基準は、マスクの上側の被膜中でイオンを完全に吸収すること、イオンに対する高い機械的抵抗、機械的張力の完全な打ち消しおよびある程度の電気的と熱的な伝導性を有することである。

第1E図に断面で示される拡散障壁を有するマスクを製造するためには、第2F図の構造ができただ後、イオン吸収層の被着の前に、アンモニアと

(33)

準となる。タンタル層5がシリコン・フレームの上側および下側に被着される時、穴21の壁にもタンタルは被着する。穴の壁のタンタル層の厚さはマスクの上側および下側よりも薄くすることができる。タンタルの層の代りに、マスクの両側にタングステンの層を被着することもできる。マスクの上側でタングステンの層の厚さは大よそ0.2ないし0.6 $\mu\text{m}$ の間である。下側および穴21の壁上の層厚に関してはタンタルと同様に決められる。

第1B図の断面に示されるようなマスクを製造するためには、第1D図に示されるマスクを製造するために用いられた方法が、最後の工程を除いて適用される。炭素の層の被着の代りに、モリブデンの層7が両側に被着される。モリブデンの層7は、蒸着またはスパッタリングかのどちらかによる2つの連続した同じ工程により被着される。モリブデンは、タンタル、タングステンやチタニウムと同じ様にイオンに対する抵抗が3ないし4のファクタだけ炭素よりも小さい。マスクの上側

(32)

シリコン合成物、たとえば $\text{SiH}_4$ の混合気体を用い600℃以下の温度でPECVDにより $\text{Si}_3\text{N}_4$ の層を1又は2つの側に形成する。層9は大よそ0.1または0.2 $\mu\text{m}$ の厚さを有する。

この発明によるマスクは半導体領域がイオン注入によりドーブされる場合や、構造が放射敏感なレジストの“光”リソグラフィで形成される場合に用いることができる。このようなレジスト構造は例えば半導体ウエハの超小型化回路の製造や、磁気バブル構成要素を製造する際に使われるエッチング・マスクやリフト・オフ・マスクに用いられる。この発明によるマスクを用いれば1 $\mu\text{m}$ 以下の幅のパターン要素を持つパターンを放射敏感なレジスト層へ写すことができる。このようなパターンは、写される最小パターン要素の大きさより小さな直径を有する収束されたビームをコンピュータの制御の下で照射される基板上を動かす装置でもつて写すことができるけれども、このような従来の装置では大量生産に必要とされる高いスループットを得ることができない。この発明によ

(34)

るマスクを用いれば、最高の精度でもつてパターンを写すことができる利点のほか、この発明によるマスクでは非常に強いイオン流をマスクが容認できない歪みを生ずることなく照射することができるため、高いスループットを得ることができるという付加的利点を有する。強いイオン流はこのように写されるパターンが歪められないので高いスループットを可能にしている。

マスクが使用される際、マスクの下側は照射される基板に対面している。マスクと基板との間の距離は $1/2$  mm 程度の大きさである。マスクは処理が行われるか、あるいは、放射敏感なレジストにより被膜されたワーク・ピース、たとえば半導体ウエハに整合される。次に、マスクは、大よそ1 mm 程度の適当な直径を有するイオン・ビームにより一線ごと照射されてマスクの各点がすべてビームの径路に入るように照射される。形成される導電型によるが、マスクはイオン注入において好ましくはホウ素イオン、リンイオン、ヒ素イオンで照射される。イオン・ビーム・リソグラ

(35)

十分な熱伝導被膜を有する場合、イオン・ビーム・マスクは最大、大よそ $150^{\circ}\text{C}$ まで熱せられる。この温度では機械的張力は、もし打ち消されなければすでに容認できない変形をマスクに生じている。マスクの表面に高いエネルギーでもつて衝突するイオンはマスクの物質を攻撃し、剥される物質の量は増大して、イオンにさらされるマスク表面上の物質の抵抗は減少する。マスクの上側の物質がこのような剥離のおそれによりさらされるリスクは端部すなわち上側表面から孔へ移る過渡表面の部分より少ない。これはイオンの衝突角度が $60^{\circ}$ まで増大するにつれ、剥離速度が増大し、その後減少するという事実による。このため、端部での剥離が零以外の角度から初まると、剥離速度は急に増加する。この結果、端が丸くなる。このような剥離およびその結果として生ずる端部の丸味は、この発明によればイオンが照射される表面を炭素のようなイオンに対して機械的に抵抗力を持つ物質で構成することにより、防ぐことができる。

(37)

フィでは水素イオン、リチウムイオンやヒ素イオンが好んで用いられる。イオン注入においては、好ましいイオン・エネルギーは大よそ $120$ ないし $200\text{keV}$ の間であり、照射量は $10^{15}\text{ions/cm}^2$ の程度である。イオン・ビーム・リソグラフィにおいては、好ましいイオン・エネルギーは $50$ ないし $200\text{keV}$ であり、照射量は $10^{12}$ ないし $10^{13}\text{ions/cm}^2$ の程度である。典型的な半導体チップのサイズに大よそ一致する $5\times 5\text{mm}$ の表面に対して、照射時間は普通、大よそ $50$ ないし大よそ $200$ ミリ秒の間である。

この発明による貫通孔を有するマスクは、環状または閉パターン要素を写すことはできないことは明らかである。この問題は、互いに補完し合う環状のパターン要素の部分に有し、両方のマスクを介して照射されると環状のパターン要素が潜像的にレジスト層に形成される2つのマスクを用いることにより解決することができる。この方法およびこの方法にもちいられるマスクの詳細が西独公開公報27 39 502に記載されている。

(36)

#### 4. 図面の簡単な説明

第1A図ないし第1E図はこの発明の第1ないし第5実施例によるマスクをそれぞれ示す概略的な断面図であり、第2A図ないし第2H図は第1C図に示すこの発明の第3実施例のマスクを製造する工程を示す概略的な断面図である。

1...シリコン層、2...基板、3...貫通孔、4...凹部、5...タンタル層、6...金層、7...モリブデン層、8...炭素層、9...窒化シリコン層。

出願人 インターナショナル・ビジネス・マシーニズ・コーポレーション  
復代理人 弁理士 合 田 潔

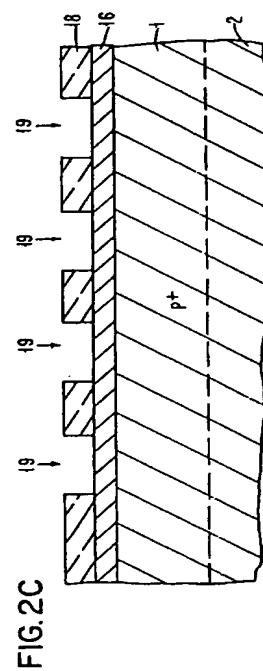
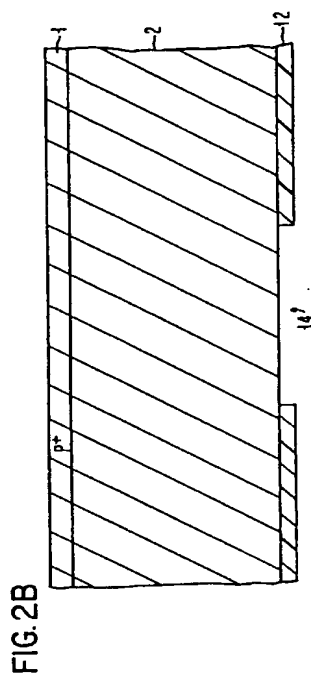
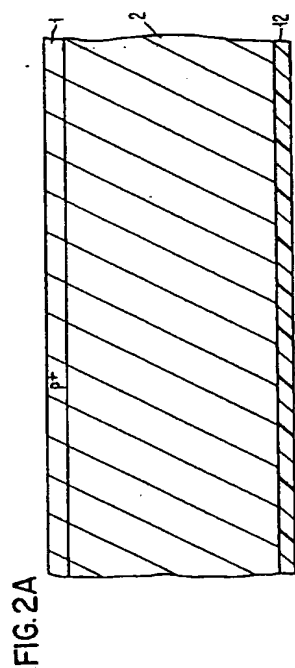
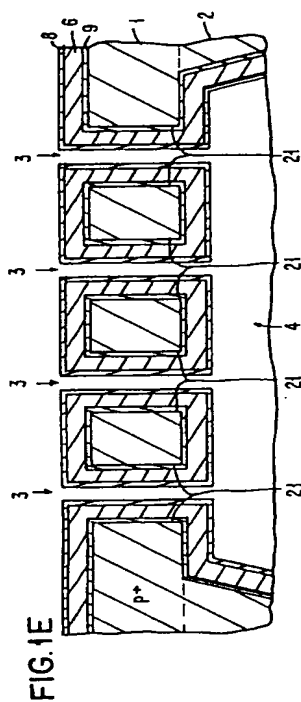
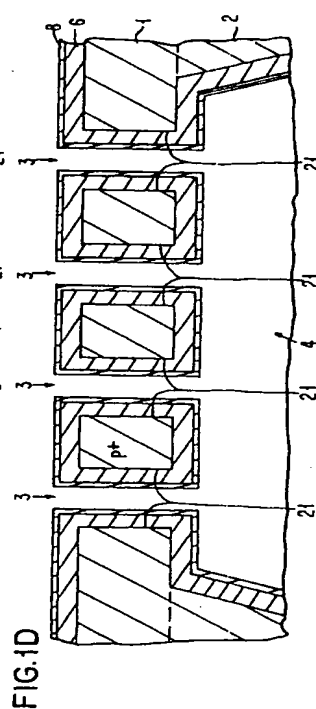
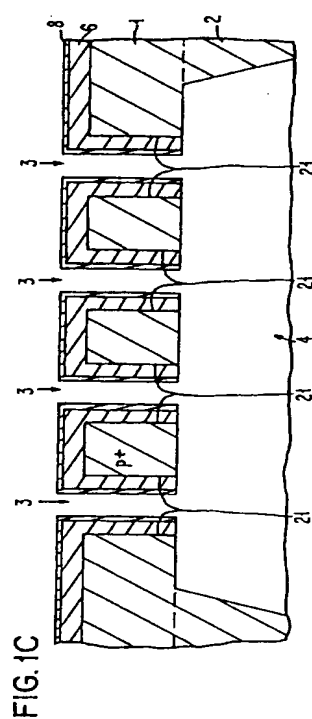
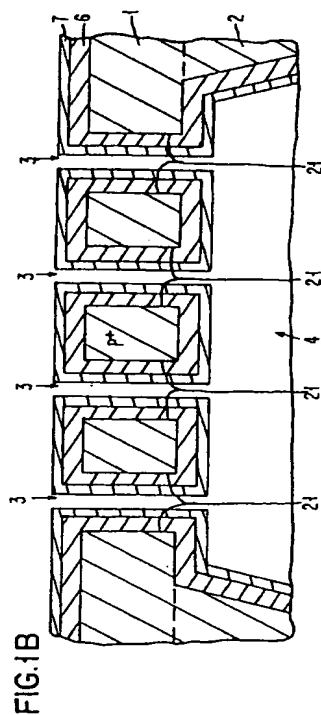
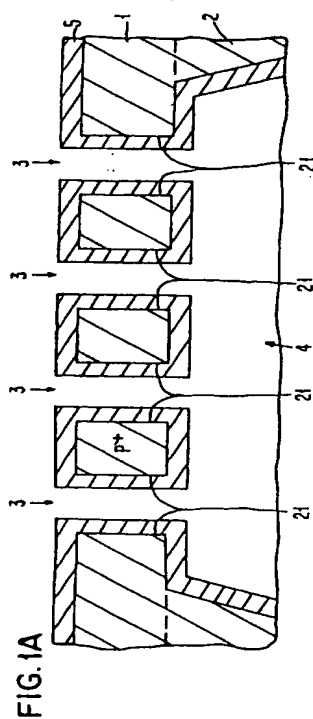


FIG. 2D

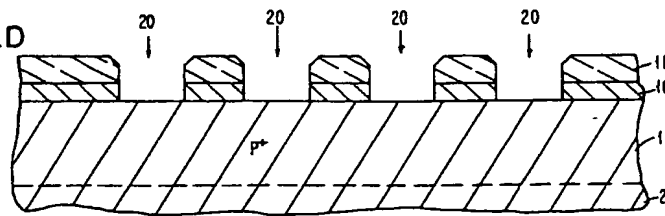


FIG. 2E

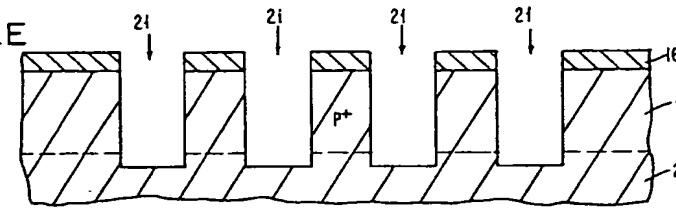


FIG. 2F

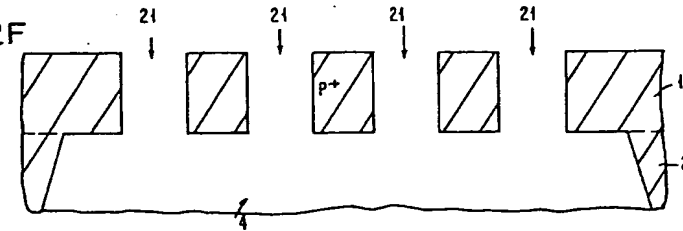


FIG. 2G

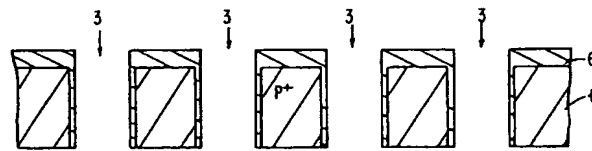


FIG. 2H

